

文章编号: 0451-0712(2006)11-0032-04

中图分类号: TU442

文献标识码: A

# 三峡库区土石比对抗剪强度参数影响规律的试验研究

赵 川<sup>1</sup>, 石晋旭<sup>2</sup>, 唐红梅<sup>1,2</sup>

(1. 重庆交通大学岩土工程实验室 重庆市 400074; 2. 重庆交通大学岩土工程研究所 重庆市 400074)

**摘 要:** 通过三峡库区奉节白马港区及万州青草背港区原状土试样的物性试验结果对其定名, 并与砾石混合制备成不同土石比试样, 通过直接剪切试验探求其不同含石量对土体抗剪强度参数的影响规律, 对三峡库区土体抗剪强度参数的准确确定具有一定的参考价值。

**关键词:** 三峡库区; 土石比; 直剪试验; 抗剪强度

长江三峡水利枢纽位于湖北省宜昌市三斗坪镇, 水库向西延伸于鄂西山地和渝中山地、丘陵区, 呈东西长、南北短的条带状。三峡水库沿长江干流河谷地貌, 受岩性和地质构造控制, 以奉节市为界, 上下两段差异显著。上段为重庆市区至奉节市, 长约 400 km, 两岸为低山丘陵, 基岩主要为侏罗系泥岩和砂岩互层, 岸坡存在大量堆积、崩积及冲积物等第四系松散沉积; 下段为奉节市至坝址, 长约 150 km, 岸坡广泛分布中、下三叠统的巴东组和嘉陵江组地层, 尤其是巴东组为碎屑岩、粘土岩和碳酸盐岩的互层和夹层, 库区自古就是地质灾害的多发地区和重灾区, 滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害量大面广。由于库区岸坡物质复杂, 多为土石混合物<sup>[2~4]</sup>, 岸坡稳定性分析的强度取值较为困难, 因此有必要就库区土石比对抗剪强度参数影响的规律性变化进行试验研究。

许多资料表明<sup>[1,5~13]</sup>, 目前, 在抗剪强度研究中, 多是从颗粒组成、形状、性质、含水量等影响因素方面研究得多, 而从变形、颗粒剪碎性、剪胀性等方面研究得少<sup>[14]</sup>。本文主要以直接剪切试验为基础, 分析研究了不同含石量(土石比)对土体抗剪强度的影响特性<sup>[15]</sup>。

## 1 试验方法的选择

土体抗剪强度的测定主要有直接剪切(直剪)试

验、三轴压缩试验以及现场原位直剪试验。由于土石混合物具有成分组成的复杂性、颗粒分布的不规则性、现场取样的困难性及试验数据的离散性, 要求具有大量的试验数据进行分析研究。后两种试验由于试验复杂, 制样取样困难, 耗时较长, 不适宜进行大量试验。而直剪试验为常规试验, 操作简单, 试样制备容易, 适宜大量试验以取得更多的数据, 因此本次规律性试验研究采用了直剪试验。

## 2 抗剪强度的测定

### 2.1 试验原理

本试验主要依据摩尔(Mohr)-库仑(Coulomb)强度理论, 其公式如下:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

式中:  $\tau_f$  为土的抗剪强度, kPa;  $c$  为土的粘聚力, kPa;  $\varphi$  为内摩擦角, ( $^\circ$ );  $\sigma$  为正应力, kPa。

通过制备 4 个试样, 施加 100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa 共 4 级正应力, 得到相应的抗剪强度, 通过正应力~剪应力的试验曲线求得粘聚力  $c$  值和内摩擦角  $\varphi$  值。

### 2.2 土样物理特性

直剪仪分为应变控制式和应力控制式两种。由于应变式能够较准确地测定剪应力和剪切位移曲线上的峰值及终值, 且操作方便, 故本试验采用应变控

制式直剪仪。试验类型为快剪试验,相当于三轴试验的不固结不排水(UU)试验。由于常规直剪仪的尺寸较小,对碎石粒径应进行控制。根据《公路土工试验规程》(JTJ 051-93)的粒组划分,结合本项目情况,把粒径小于 2 mm 的颗粒称为土,2 mm~5 mm

的颗粒称为石。本试样取自依托工程奉节白马港区以及万州青草背港区。从现场取回试样后,进行风干、碾细(不破坏土粒结构),过 2 mm 的筛备用。对原状土进行了室内物理性试验及颗粒分析试验。原状土物理性质指标见表 1。

表 1 土样物理性质指标

指标	天然含水率 %	天然密度 g/cm <sup>3</sup>	干密度 g/cm <sup>3</sup>	土粒 比重	天然 孔隙比	液限 %	塑限 %	塑性指 数 $I_p$	液性指 数 $I_L$
奉节白马港区	21.15	2.03	1.68	2.72	0.599	32.28	16.72	15.56	0.28
万州青草背港区	20.88	2.07	1.71	2.70	0.577	30.37	16.2	14.17	0.33

试验土样的颗粒分析参见表 2 以及图 1、图 2。从土的物性试验结果可以看出,所取试验土样的比重在 2.7 左右,由液限及塑性指数可以定出该土样名

称为低液限粘土。通过筛分曲线可知,试验土样粒径分布较均匀。

表 2 土样筛分结果

港区	小于某粒径(mm)的土质量百分数/%									
	20	10	5	3	2	1.25	0.5	0.25	0.1	0.074
奉节白马港区	98.71	95.71	88.30	72.09	66.12	51.74	25.97	20.18	11.88	9.08
万州青草背港区	100.00	100.00	100.00	95.58	93.15	77.34	57.11	47.40	25.12	20.91

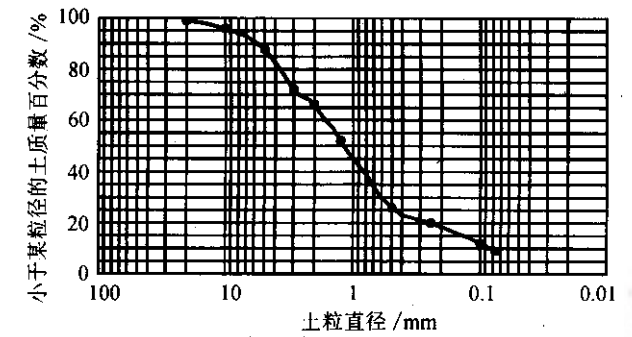


图 1 奉节白马港区土样筛分曲线

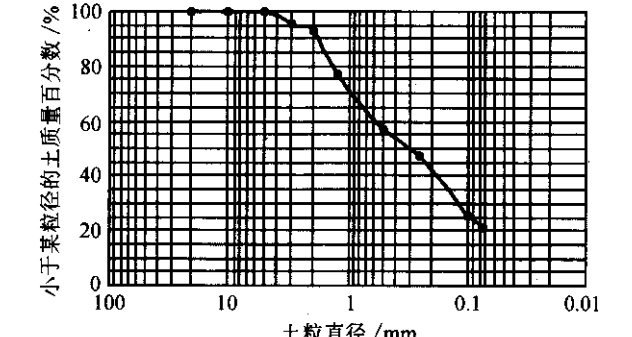


图 2 万州青草背港区土样筛分曲线

2.3 试样制备及试验

试样制备按碎石百分含量分为 0%、20%、40%、

50%、60%、70%、80%、100% 共 8 组,每组试样又按 3 组不同含水量以及 3 组不同密度进行制样试验,总共做了 132 组 600 多个试样,进行 4 级正应力下的直剪试验,历时近半年。

3 试验数据的分析讨论

通过归纳整理试验数据,列出了不同含石量下的抗剪强度指标,其结果见表 3。

表 3 不同土石比直剪试验结果汇总

奉节白马港区			万州青草背港区		
碎石百分含量 %	抗剪强度指标		碎石百分含量 %	抗剪强度指标	
	粘聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ /( $^{\circ}$ )		粘聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ /( $^{\circ}$ )
0	45.9	18.7	0	39.4	19.4
20	47.6	21.3	20	44.2	26.9
40	46.7	39.1	40	43.3	37.1
50	34.2	44.6	50	29.3	39.5
60	29.8	45.8	60	27.8	44.1
70	26.8	42.3	70	28.6	40.0
80	25.1	40.0	80	24.7	40.3
100	16.8	42.9	100	17.1	43.4

奉节白马港区土样含石量和粘聚力、内摩擦角的关系曲线如图 3、图 4 所示。

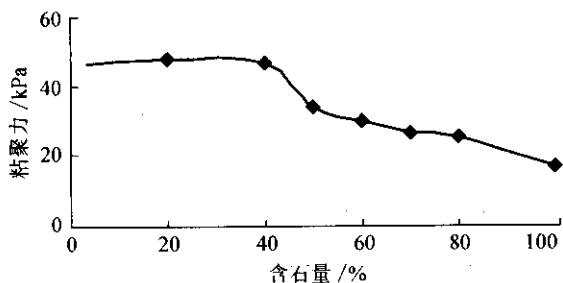


图3 含石量~粘聚力关系曲线

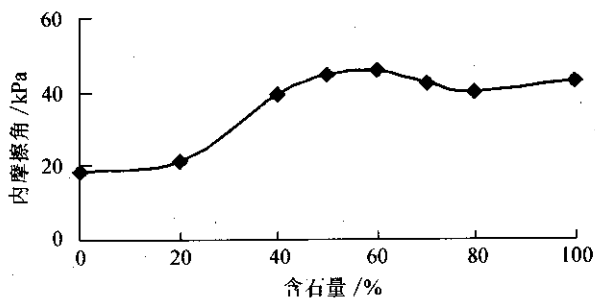


图4 含石量~内摩擦角关系曲线

万州青草背港区土样含石量和粘聚力、内摩擦角的关系曲线如图5、图6所示。

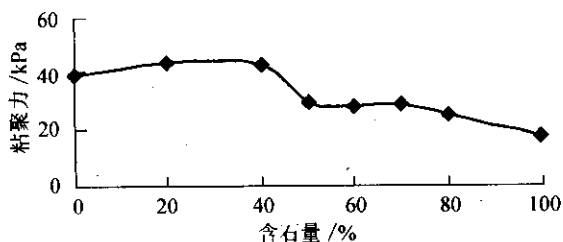


图5 含石量~粘聚力关系曲线

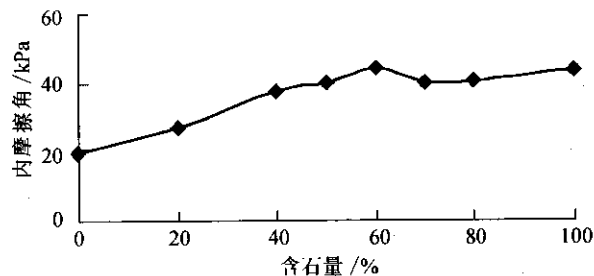


图6 含石量~内摩擦角关系曲线

由试验过程及结果可知,碎石含量的多少对土体抗剪强度指标有很大的影响,一般随碎石含量的增加,抗剪强度也随之增大。从图3、图5含石量~粘聚力关系曲线可见:含石量在0%~40%的范围内,曲线较平,粘聚力随含石量的增加有少许增大;当含石量大于40%时,曲线有陡降段,粘聚力急剧下降,下降幅度达30%左右;当含石量大于60%时,粘聚力

下降趋势变缓。

由图4、图6含石量~内摩擦角关系曲线可见:随含石量的增加,内摩擦角逐渐增加,但并不是一直增大。当含石量在20%~60%时增加较快,达1倍多。含石量大于60%时,内摩擦角还有一定的下降,然后曲线又少许上翘,这可能是由于较少的粘土在碎石间起到了润滑剂的作用,使得内摩擦角变小。

由于粗颗粒的增加,相应地使土体的单位密度增大,粗颗粒之间的摩擦力及镶嵌挤锁作用随之增大,土体的抗剪强度得以大幅提高。随着粗颗粒继续增加,细料相应减少,土体之间的粘聚力减小,粗颗粒在土体中起骨架作用。由于细料较少,粗颗粒之间的空隙没有足够的细料进行填充,土体密实度相应减小,粗颗粒之间的稳定性降低,从而使得抗剪强度增加缓慢或有下降的趋势。

在试验中还发现,剪切位移有“跳跃”现象,表现在剪切力上就有了突变,随着含石量的增加越发明显(含石量在20%~70%之间)。这与纯粘土及砂土不一样,这种“跳跃”现象应该是由于土体中粗颗粒的存在,剪切面又刚好通过这些粗颗粒,如果正应力不大,剪切时就必须绕过这些粗颗粒,如果正应力足够大,则剪切面上的粗颗粒就有部分会被剪碎,使得剪切面就不会是如图7所示的A-B平面,而是一个不规则的曲面。这种“跳跃”现象也正是碎石土剪胀现象的表现。

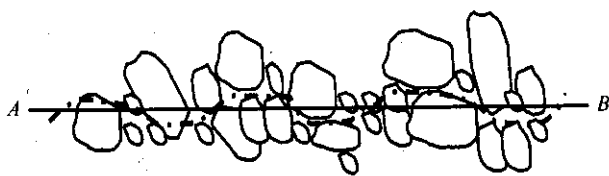


图7 土石混合剪切面示意

#### 4 结论

(1)对于碎石类土,随着含石量的增加,抗剪强度相应增大,但并不是一直增大,而是在一定含石量范围内。

(2)碎石类土也会表现出全应力~应变关系曲线,但它与匀质类材料也还是有明显的不同,具有明显的剪切位移的“跳跃”性。

(3)当碎石含量为100%时,其粘聚力理论值应为零,而试验的结果并不为零。这是因为碎石之间形成了骨架,颗粒之间相互交错在一起,增加了颗粒之

间的咬合力,表现在强度上就有了粘聚力,由此造成了这种结果。

(4)虽然常规直剪仪操作简单方便,但其尺寸效应也是非常明显的,无法进行大颗粒的土石混合料的试验。通过对土样缩尺处理,加大试样的试验数量,其试验数据对库区碎石类土强度参数影响规律的研究还是有一定的意义。

#### 参考文献:

- [1] 张嘎,张建民. 粗粒土与结构接触面单调力学特征的试验研究 [J]. 岩土工程学报, 2004, 26(1).
- [2] Chen Hong-kai, Tang Hong-mei, Wang Qi-neng, et al. Research on creep and non-linear decrease and soil landslide start for loose earth to suction in Chongqing reservoir (Founded by the Chongqing Nature Fund) [J]. Journal of Chongqing Normal University, 2000.
- [3] Chen Hong-kai, Tang Hong-mei, Wang Qi-neng. Systematic engineer for preventing and geologic disasters and the study and prevention of the landslides of loose soil [J]. Journal of Chongqing Normal University, 2001, 18(2).
- [4] 陈洪凯,等. 库区港口地质灾害发生机理与边坡稳定性分析评价研究[R]. 重庆交通大学岩土工程研究所, 2006.
- [5] 时卫民,郑宏录,刘文平,郑颖人. 三峡库区碎石土抗剪强度指标的试验研究[J]. 重庆建筑, 2005, (2).
- [6] 郭熙录,胡辉. 堆石料颗粒破碎对剪胀性及抗剪强度的影响[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(3).
- [7] 郭庆国. 关于粗粒土抗剪强度特性的试验研究[J]. 水利学报, 1987, (5).
- [8] 王昆耀,常志层. 往返荷载下粗粒土的残余变形特性[J]. 土木工程学报, 2000, 33(3).
- [9] 李振,李鹏. 粗粒土直接剪切试验抗剪强度指标变化规律[J]. 防渗技术, 2002, 8(1).
- [10] Indraratna B, Ionescu D, Chrisitie H D. Shear behavior of railway ballast based on large-scale triaxial texts [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineering, 1998, 124(5).
- [11] Marsal R J. Large-scale testing of rock fills materials [J]. Journal of Soil mechanics and foundation division, American Society of Civil Engineers. 1967, 95(2).
- [12] Matsuoka H, Nakai T. Stress-deformation and strength character entices of soil miller three difference principal stresses [J]. proc. of Japan society of Civil Engineer, 1974, 232.
- [13] Uesil A S, Clough G W. Behavior of Granular Materials under High Scresses [J]. ASCE, JsuFP, 1968, 94(3).
- [14] 卢肇钧. 粘性土抗剪强度研究的现状与展望[J]. 土木工程学报, 1999, 32(4).
- [15] 田树玉. 粗粒土抗剪强度特性研究[J]. 大坝监测与土工测试, 1997, 21(2).

## Test and Research on Influence Law of Soil-Rock Ratio in Three Gorges Reservoir Region on Soil Strength Parameters

ZHAO Chuan, SHI Jin-xu, TANG Hong-mei

- (1. Lab. of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;
2. Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** The original state soil samples of Fengjie Baima Port and Wanzhou Qingcaobei Port in Three Gorges Reservoir Region are named through the result of physics character tests. The samples in different soil-rock ratio are mixed with gravel. And the influence law of samples in different contain of rock on soil share strength factors is studied by direct shear tests, which is reference for exactly confirming the soil share strength of Three Gorges Reservoir Region.

**Key words:** Three Gorges Reservoir Region; soil-rock ratio; direct shear test; shear strength